

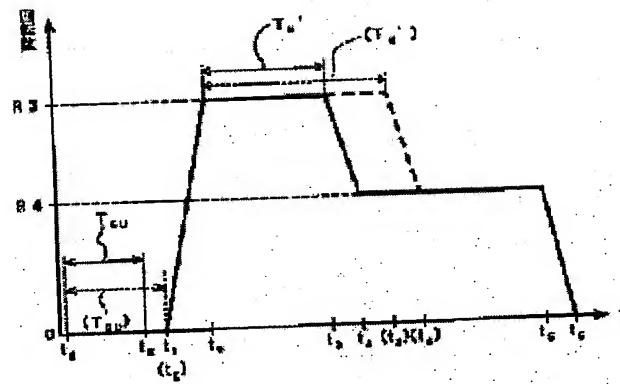
COATING LIQUID-APPLYING METHOD

Patent number: JP10156273
Publication date: 1998-06-16
Inventor: SANADA MASAKAZU; MATSUNAGA SANENOBU
Applicant: DAINIPPON SCREEN MFG
Classification:
 - international: B05D1/40; G03F7/16; H01L21/027; H01L21/31; B05C11/08
 - european:
Application number: JP19960315814 19961127
Priority number(s): JP19960315814 19961127

[Report a data error here](#)

Abstract of JP10156273

PROBLEM TO BE SOLVED: To widen the range for adjusting a film thickness while keeping the film thickness uniformity even for a large diameter substrate. **SOLUTION:** In a coating liquid-applying method for applying a coating liquid onto a substrate and forming a coated film of desired film thickness, the application of the coating liquid is started in the state of setting the substrate standstill (timing t_s), and the application is interrupted (timing t_E). Then the substrate is rotated at high speed of first number of rotations R_3 set at the comparatively high speed (t_1-t_3), and the substrate is rotated at the second number of rotations R_4 lower than the first number of rotations R_4 to form a coated film (t_4-t_5). For adjusting the film thickness, the empty rotation time T_H' , for rotating at the high speed of first number of rotations R_3 is adjusted.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-156273

(43) 公開日 平成10年(1998)6月16日

(51) Int.Cl.⁶
 B 05 D 1/40
 G 03 F 7/16
 H 01 L 21/027
 21/31
 // B 05 C 11/08

識別記号

F I
 B 05 D 1/40 A
 G 03 F 7/16 502
 H 01 L 21/31 A
 B 05 C 11/08
 H 01 L 21/30 564 D
 審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平8-315814

(22) 出願日 平成8年(1996)11月27日

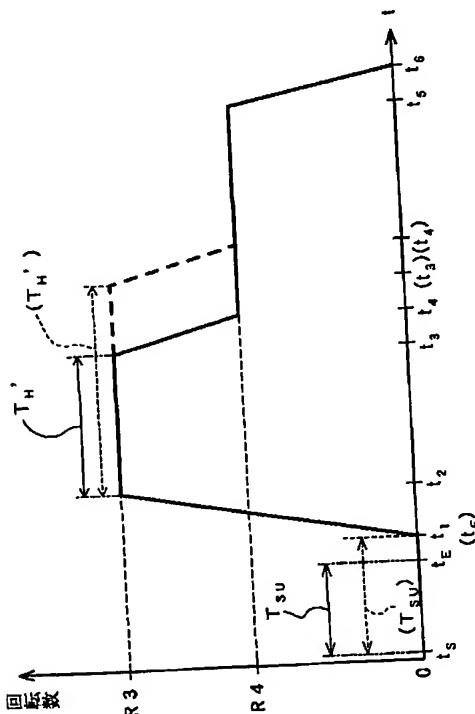
(71) 出願人 000207551
 大日本スクリーン製造株式会社
 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁
 目天神北町1番地の1
 (72) 発明者 真田 雅和
 京都府京都市伏見区羽束師古川町322 大
 日本スクリーン製造株式会社洛西事業所内
 (72) 発明者 松永 実信
 京都府京都市伏見区羽束師古川町322 大
 日本スクリーン製造株式会社洛西事業所内
 (74) 代理人 弁理士 杉谷 勉

(54) 【発明の名称】 塗布液塗布方法

(57) 【要約】

【課題】 大口径基板であっても膜厚均一性を良好に保
ちつつ膜厚調整可能な範囲を広くすることができる。

【解決手段】 基板に塗布液を供給して所望膜厚の塗布
被膜を形成する塗布液塗布方法であって、基板を静止さ
せた状態で塗布液の供給を開始するとともに(t_s 時
点)、その供給を停止し(t_E 時点)、基板を比較的高
速の第1の回転数 R_3 で高速回転させ($t_1 \sim t_3$)、
基板を第1の回転数 R_3 よりも低い第2の回転数 R_4 で
回転させて塗布被膜を形成する($t_4 \sim t_5$)。膜厚を
調整するには、第1の回転数 R_3 で高速回転させる空回
転時間 $T_{H'}$ を調整する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板に塗布液を供給して所望膜厚の塗布被膜を形成する塗布液塗布方法であって、

(a) 基板を静止させた状態で前記基板の表面中心付近に塗布液の供給を開始するとともに、その供給を停止する過程と、

(b) 前記基板を比較的高速の第1の回転数で高速回転させる過程と、

(c) 前記基板を第1の回転数よりも低い第2の回転数で回転させて塗布被膜を形成する過程とをその順に実施し、

基板を第1の回転数で高速回転させる時間を調整して、前記塗布被膜の膜厚を調整するようにしたことを特徴とする塗布液塗布方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体ウエハ、フォトマスク用のガラス基板、液晶表示装置用のガラス基板、光ディスク用の基板など（以下、単に基板と称する）に対して、SOG(Spin On Glass, シリカ系被膜形成材とも呼ばれる)液、フォトレジスト液、ポリイミド樹脂などの塗布液を塗布する塗布液塗布方法に係り、特に基板を静止させた状態でその表面に塗布液を供給して所望膜厚の塗布被膜を形成する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】従来のこの種の塗布液塗布方法について図3を参照して説明する。図3は、回転式基板塗布装置の要部を示す図である。この装置は、基板Wをほぼ水平姿勢で吸着支持して回転させる吸引式スピンドル10と、そのほぼ回転中心の上方に、塗布液であるフォトレジスト液Rを基板Wの表面に供給するための吐出ノズル30とを備えている。

【0003】上記のように構成された装置を利用する従来例に係るフォトレジスト液塗布方法では、例えば、図4のタイムチャートに示すように回転数制御を行って基板Wの表面に所望膜厚のフォトレジスト被膜を形成するようになっている。

【0004】すなわち、まず、基板Wを吸引式スピンドル10に吸着支持させただけで回転させることなく静止させた状態で、t_S 時点において吐出ノズル30からフォトレジスト液Rの供給を開始する。そして、その後状態でフォトレジスト液Rの供給を継続し、t_E 時点において吐出ノズル30からのフォトレジスト液Rの供給を停止する。

【0005】このようにしてフォトレジスト液Rの供給を完了した後に、図示しないモータによって基板Wを回転数R1（例えば、900 rpm）で低速回転させて、フォトレジスト液Rを拡散させる。その後、基板Wの回転数を現在の回転数R1よりも高い回転数R2（例えば、3,000 rpm）に上げてこの高速回転を所定時

間保持することにより、基板Wの表面に供給された余剰のフォトレジスト液Rを振り切って、基板Wの表面に所望膜厚のフォトレジスト被膜を形成するようになっている。フォトレジスト被膜の膜厚を調整するには、図4中に点線で示すように、主として回転数R2を低くして厚い膜厚の被膜を形成したり、回転数R2を高くして薄い膜厚の被膜を形成するようになっている。なお、このように基板Wを静止させた状態でフォトレジスト液Rの供給を開始し、その状態で供給を停止するフォトレジスト液の供給方法は、『スタティック法』とも呼ばれている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、最近では大導体デバイスの製造工程で使用される半導体ウエハが大口径化する動きがある。具体的には、例えば、8インチ（約200mm）径の基板よりも更に大口径の300mm（約200mm）径の基板への移行である。上述したような従来例に係るフォトレジスト液塗布方法により、そのような大口径の基板を処理する場合には以下のようないわゆる問題がある。

【0007】すなわち、上述した図4のタイムチャートの如く基板の回転数を制御して300mm径などの大口径基板を処理すると、その表面に形成されるフォトレジスト被膜の膜厚均一性が大幅に低下するという問題である。基板を回転駆動してフォトレジスト被膜を形成する際には、基板が大口径化したことにより周縁部の乱流が顕著に発生し、そのため基板の中心付近に供給されたフォトレジスト液がその周縁部に向かって拡がってゆく際に生じる溶媒の不均一な揮発が膜厚均一性を大幅に低下させる主たる要因である。

【0008】そこで、乱流の発生を抑制して膜厚均一性を確保するためには、基板の回転数を小さくせざるを得ない。例えば、上述した例で説明すると、上記の回転数R1を従来の900 rpmから700 rpmに、上記の回転数R2を3,000 rpmから1,500 rpmに小さくする。このように回転数R1, R2を小さくすると、乱流を抑制できるので膜厚均一性を良好にすることが可能である一方、当然のことながら回転駆動により振り切られるフォトレジスト液量が少なくなるので、形成されるフォトレジスト被膜の膜厚が厚くなり、所望膜厚のフォトレジスト被膜、特に薄膜を形成することが困難になっている。

【0009】そこで、膜厚均一性を良好に保つつ所望する膜厚のフォトレジスト被膜を得るために、例えば、所望膜厚に応じてフォトレジスト液の粘度を0.1 cP 単位で微調整することが提案されている。つまり、低粘度のフォトレジスト液を供給することで、低速の回転数であっても膜厚が薄い被膜を形成できるようになるのである。しかしながら、このような手法で調整可能な膜厚の範囲には限度があるので、やはり回転数R1, R2の大きさを変えて膜厚を調整する必要があるが、上述した

ように大口径の基板には乱流に起因する膜厚不均一の問題があるので、従来可能であった範囲にわたって回転数R1, R2を大きく調整することができない。その結果、膜厚均一性を良好に保ちつつフォトレジスト被膜の膜厚を調整可能な範囲が狭くなるという問題点がある。

【0010】なお、提案されているようにフォトレジスト液の粘度を変えることによって膜厚を調整する手法を実現するためには、所望膜厚に応じた量の溶媒を一定粘度のフォトレジスト液に混合するための溶媒混合機構が必要なこと、あるいは種々の粘度のフォトレジスト液を予め用意しておき、膜厚に応じて供給するフォトレジスト液を切り換えるフォトレジスト液切換機構あるいはノズル本数の増加が必要になっていざれにしても装置およびその制御が複雑化する等の問題があるので、大口径基板を処理するための現実的な手法であるとは言い難い。

【0011】本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、大口径基板であっても膜厚均一性を良好に保ちつつ膜厚調整可能な範囲を広くすることができます。塗布液塗布方法を提供することを目的とする。

【0012】
【課題を解決するための手段】本発明は、このような目的を達成するために、次のような構成をとる。すなわち、本発明は、基板に塗布液を供給して所望膜厚の塗布被膜を形成する塗布液塗布方法であって、(a) 基板を静止させた状態で前記基板の表面中心付近に塗布液の供給を開始するとともに、その供給を停止する過程と、(b) 前記基板を比較的高速の第1の回転数で高速回転させる過程と、(c) 前記基板を第1の回転数よりも低い第2の回転数で回転させて塗布被膜を形成する過程とを順に実施し、基板を第1の回転数で高速回転させる時間を調整して、前記塗布被膜の膜厚を調整するようにしたことを特徴とするものである。

【0013】
【作用】本発明の作用は次のとおりである。基板を静止させた状態で基板の表面中心付近に塗布液の供給を開始し、その状態で塗布液の供給を停止(過程(a))した後、基板を比較的高速の第1の回転数で高速回転させる(過程(b))。つまり、所要量の塗布液の供給を完了した後に、比較的高速の第1の回転数で基板を高速回転すると、塗布液が第1の回転数による強い遠心力によって急激に基板表面を拡がってゆき、ほぼ表面全体を短時間で覆い尽くす。基板の回転数が比較的高速の第1の回転数に到達すると、その時点からある程度遅れて基板周縁部の表層付近において乱流が発生し、次第に回転中心側に向かって進行してゆく。この乱流により塗布液に含まれている溶媒の揮発が基板面内において不均一となり膜厚均一性を低下させるが、その時点では既に塗布液の供給が完了しているだけでなく、塗布液が基板のほぼ表面全体にわたって塗り拡げられているので、その影響を受けることなく基板のほぼ表面全体にわたって塗布

液を均一に塗り拡げができる。その後、基板の回転数を第1の回転数よりも低い第2の回転数で回転駆動することにより(過程(c))、塗布液を乾燥させて塗布被膜を形成する。

【0014】上記の過程において、回転数を大きく調整することなく第1の回転数による基板の高速回転時間を調整すると、基板のほぼ表面全体に塗り拡げられた塗布液が振り切られる量を調節することができる。したがって、基板の表面全体を覆っている塗布液の厚みを調整することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の一実施例を説明する。図1は、本発明に係る塗布液塗布方法を適用した回転式基板塗布装置を示す縦断面図である。

【0016】図中、符号10は吸引式スピンドルで、基板Wをほぼ水平姿勢で吸着支持するものである。この吸引式スピンドル10は、中空の回転軸11を介してモータ12によって回転駆動される。吸引式スピンドル10の周囲には、塗布液であるフォトレジスト液などの飛散を防止するための飛散防止カップ13が配備されている。また、図示しない搬送手段が未処理の基板Wを吸引式スピンドル10に載置したり、吸引式スピンドル10から処理済みの基板Wを受け取る際には、図示しない昇降手段が回転軸11と飛散防止カップ13とを相対昇降させることによって、吸引式スピンドル10を飛散防止カップ13の上方へと移動させる(図中の二点鎖線)。

【0017】飛散防止カップ13は、上カップ14と、円形整流板15と、下カップ17等から構成されている。上カップ14は、上部に開口部14aと、基板Wの回転によるフォトレジスト液などの飛沫を下方に案内する傾斜面14bとを有する。

【0018】円形整流板15は、開口部14aから流入して基板Wの周縁に沿って流下する気流を下カップ17に整流して案内するとともに、上カップ14の傾斜面14bによって下方に案内されたフォトレジスト液などの飛沫をこの気流に乗せて下カップ17に案内する。

【0019】下カップ17の底部には、排液口17aが配設されている。この排液口17aは、排液タンク17bに接続されており、回転振り切り後のフォトレジスト液などを回収するようになっている。下カップ17の底部には、さらにカップ排気口17cが配設されている。このカップ排液口17cは、排気ポンプ17dに接続されており、飛散防止カップ13内に滞留する霧状のフォトレジスト液などを空気とともに吸引して排気するようになっている。

【0020】円形整流板15の内側には、基板Wの裏面に回り込んだフォトレジスト液や付着したミストを除去するための洗浄液を基板Wの裏面に向けて吐出するため

のパックリンスノズル20が配設されている。このパックリンスノズル20には、管継手18と供給配管18aを介して洗浄液供給部18bから洗浄液が供給されるようになっている。

【0021】さらに、飛散防止カップ13の開口部14aの上方であって、基板Wのほぼ回転中心の上方には、フォトレジスト液を吐出する吐出ノズル30が配備されている。また、吐出ノズル30へフォトレジスト液を所定量だけ供給する図示しない塗布液供給手段と、スピンドルチャック10と飛散防止カップ13とを相対昇降する図示しない昇降手段と、モータ12とは、制御部50によって制御されるように構成されている。なお、制御部50は、メモリ51に格納された、後述するタイムチャートに応じた処理プログラムによって上記各部の制御を行うようになっている。

【0022】上述したように構成された回転式基板塗布装置に適用された本発明方法に基づく回転数制御の一例を図2を参照して説明する。なお、以下のタイムチャートでは省略しているが、上記パックリンスノズル20から洗浄液を吐出して、基板Wの裏面に付着したフォトレジスト液やそのミストを洗浄除去するように命令を付加しておくことが好ましい。

【0023】まず、基板Wを吸引式スピンドルチャック10に吸着支持させ、モータ12を回転駆動することなく基板Wを静止させた状態で、 t_S 時点において吐出ノズル30から一定流量でフォトレジスト液の供給を開始する。そして、 t_S 時点から供給時間TSUが経過する時点 t_E において、フォトレジスト液の供給を停止する。つまり、この供給時間TSU内に所要量のフォトレジスト液を供給完了する。この過程では、フォトレジスト液が基板Wの表面中心付近において円形状の塊となっており、液量が増すにつれてその径を同心円状に拡大してゆく。なお、上記の t_S 時点から t_E 時点までが本発明における過程(a)に相当する。

【0024】フォトレジスト液の供給を t_E 時点で停止して一定時間が経過した t_1 時点において制御部50がモータ12を回転駆動し、 t_2 時点で基板Wの回転数が比較的高速の回転数R3に到達するように制御する。このように比較的高速の回転数R3によって基板Wを回転させると、フォトレジスト液は強い遠心力により基板Wの中心付近から周縁部に向かって拡がってゆき短時間でほぼ表面全体を覆い尽くす。そして、この回転数R3にによる回転駆動を t_3 時点まで保持する。なお、上記回転数R3は本発明における第1の回転数に相当するものであり、例えば、4,000 rpmである。また、 t_1 時点から t_3 時点までが本発明における過程(b)に相当する。

【0025】この過程では、基板Wの回転数が比較的高速の回転数R3に到達して暫くすると、基板Wの周縁部から乱流が発生し、時間が経過するにつれて基板W

の中心部に向かって進行してゆく。フォトレジスト液が基板Wの中心付近から周縁部に向かって拡がってゆく際に、このような乱流の影響を受けると基板Wの面内における溶媒揮発が不均一となって膜厚が不均一になる問題がある。しかしながら、このように乱流が発生する時点では、既に所要量のフォトレジスト液の供給が完了しているだけでなく、既にフォトレジスト液が基板Wのほぼ表面全体を覆っているので、その影響により溶媒揮発が不均一になることを防止することができる。したがって、基板Wのほぼ表面全体にほぼ均一にフォトレジスト液を塗り拡げができる。

【0026】なお、供給停止時点 t_E と回転駆動を開始する時点 t_1 とのタイミング、回転数R3の値、回転数R3への加速度などは、基板Wの径やその表面状態、フォトレジスト液の粘度やその供給量などの種々の条件を勘案して設定することが好ましく、回転数R3による乱流が発生する時点あるいはその直後に、フォトレジスト液が基板Wのほぼ表面全体を覆うように設定することが好ましい。換言すると、基板Wの表層付近あるいはその上部空間に比較的高速の回転数R3による乱流に起因して溶媒蒸発の大きな空間が形成される前あるいはその直後にフォトレジスト液の拡散がほぼ完了できるように設定することが好ましい。

【0027】このようにしてフォトレジスト液を基板Wの表面全体にわたってほぼ均一に塗り拡げた後も、所望膜厚に応じた時間だけ回転数R3による回転駆動を保持する。具体的には、基板Wの回転数が回転数R3に到達した時点 t_2 を基準として、回転数R3で回転駆動する時間(以下、空回転時間TH'とする)、つまり、 t_2 時点から t_3 時点の時間を所望膜厚に応じて設定すればよい。この空回転時間TH'の過程では、基板Wの表面全体にわたってフォトレジスト液を完全に塗り拡げるとともに、余剰分をある程度振り切って所望膜厚に近い膜厚に粗調整する。このように比較的高速の回転数R3に保持すると乱流の影響を受けることになるが、上述したように既にフォトレジスト液が基板Wの表面全体にわたって塗り拡げられているので膜厚が不均一となる不都合は生じない。

【0028】そして空回転時間TH'が経過した t_3 時点で、基板Wの回転数を回転数R3よりも低い回転数R4に向けて下げ始め、 t_4 時点で回転数R4に到達するように制御部50がモータ12を制御する。このように基板Wの回転数を回転数R4に下げるとき比較的高速の回転数R3によって基板Wの表層付近に生じていた乱流をほぼ抑止することができる。この回転数R4を t_5 時点まで保持することにより、基板Wの表面全体にわたってほぼ所望膜厚にされているフォトレジスト液を乾燥させて、所望膜厚のフォトレジスト被膜を形成することができる。なお、上記の回転数R4が本発明の第2の回転数である。また、 t に相当し、例えば、3,000 rpmである。

t_4 時点から t_5 時点までが本発明の過程(c)に相当するものである。

【0029】上述したように基板Wを静止させた状態でフォトレジスト液の供給を完了し、比較的高速の(第1の)回転数R3により短時間のうちにフォトレジスト液を基板Wのほぼ表面全体に塗り拡げているので、比較的高速の回転数R3に伴う乱流の影響で溶媒揮発が不均一になって膜厚が不均一になることを防止できる。したがって、基板Wの表面全体にわたって膜厚均一性が良好なフォトレジスト被膜を形成することができる。また、膜厚を調整するためには、図2中に括弧書きで示すように上記の空回転時間TH'を変えて振り切るフォトレジスト液量を変え、基板Wの表面全体を覆っているフォトレジスト液の厚みを変えればよい。したがって、膜厚に応じて回転数を大きく変えることなく、フォトレジスト被膜の厚みを変えることができるので、大口径の基板Wであっても乱流に起因する膜厚不均一が生じることを防止でき、膜厚調整可能範囲を従来に比較して広くすることができます。特に、薄い膜厚を必要とする場合、従来手法では一般的に回転数を上げる必要があるが、本発明方法によれば回転数を大きく変えることなく、空回転時間TH'を長くすることで薄膜を品質良く形成することができる。また、本手法では、1種類の粘度のフォトレジスト液で種々の膜厚の被膜を形成することができるので、既存の装置に容易に適用することができるとともに、フォトレジスト液の粘度を調整して膜厚を変えようとする提案手法のように装置の構造およびその制御が複雑化することはない。

【0030】なお、上述した図2のタイムチャートでは、フォトレジスト液の供給停止時点 t_E から(第1の)回転数R3へと基板Wの回転数を上げてゆくまでに一定時間だけ間を開けているが、基板Wとフォトレジスト液の温度差によってはその間に塗布ムラの原因を生じる場合があるので、図2中に括弧書きで示すように(t_E)時点においてフォトレジスト液の供給を停止するとともに基板Wの回転数を(第1の)回転数R3に上げ始めるように制御することが好ましい。

【0031】なお、上記の説明では、空回転時間TH'のみを調整して膜厚を調整する場合を例に探って説明したが、その他に膜厚を調整可能なパラメータとして(第1の)回転数R3、(第2の)回転数R4及びその回転駆動時間がある。但し、これらの回転数を調整する際に膜厚不均一の要因である乱流の発生を考慮して行う必要がある。

【0032】また、上記の説明では、(第1の)回転数R3を4,000 rpmとし、(第2の)回転数R4を3,000 rpmとして説明したが、それらの値としては膜厚均一性を良好に保持できる範囲内で種々の値を設定することができる。例えば、(第1の)回転数R3としては3,000~5,500 rpmの範囲内で設定

し、(第2の)回転数4としては2,000~5,000 rpmの範囲内で設定するのが好ましい。このような範囲に設定することが好ましいのは、(第1の)回転数R3を3,000 rpmより低くするとフォトレジスト液の振り切り効果が小さくなつて薄膜を形成することが困難になり、5,500 rpmを越えると高速回転により振り切られたフォトレジスト液が飛散防止カップ内面で跳ね返つて基板に付着する不都合が生じたり、乱流の影響が大きくなつて上記の上限内で処理した場合に比較して膜厚均一性が悪化する傾向があるからである。また、(第2の)回転数R4を2,000 rpmより低くするとフォトレジスト液の乾燥に時間を要してスループットが低下し、5,000 rpmを越えると乱流の影響が大きくなつてこの過程で上記(第1の)回転数R3で述べたような不都合が生じる傾向があるからである。

【0033】また、上記の説明ではフォトレジスト液を例に探って説明したが、本発明はSOG液やポリイミド樹脂などの塗布液であっても適用可能であることは言うまでもない。

【0034】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、第1の回転数で高速回転させる前に基板への塗布液の供給を完了しており、その後高速回転させることにより基板のほぼ表面全体にわたつて短時間で塗布液を塗り拡げることができる。したがつて、比較的高速の第1の回転数による乱流の影響を受ける前に、塗布液を基板のほぼ表面全体にわたつて塗り拡げることができ、溶媒の揮発を基板面内において均一にすることができる。さらに、回転数を大きく調整することなく第1の回転数による回転駆動時間を調整することにより振り切られる塗布液の量を調整することができるので、塗布液の膜厚を調整することができる。その結果、大口径の基板において特に生じ易い乱流に起因する膜厚不均一を防止でき、膜厚均一性を良好に保ちつつも膜厚調整可能な範囲を従来に比較して広くすることができます。このため薄い膜厚の塗布被膜をも品質良く形成することができ、デザインルールが厳しい半導体デバイスの製造にも対応することができる。また、膜厚に応じて塗布液の粘度を変える必要がないので、従来装置にこの塗布液塗布方法を適用するだけで大口径基板に均一な塗布被膜を形成することができ、既存の装置を有効活用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明方法を適用した回転式基板塗布装置の概略構成を示す図である。

【図2】フォトレジスト液塗布方法の一例を示すタイムチャートである。

【図3】従来例に係る回転式基板塗布装置の要部を示す図である。

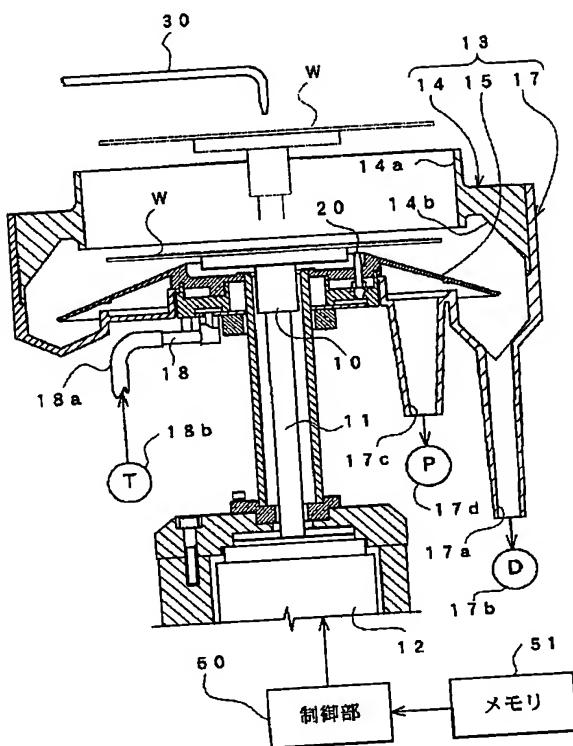
【図4】従来例に係る塗布液塗布方法を示すタイムチャートである。

【符号の説明】

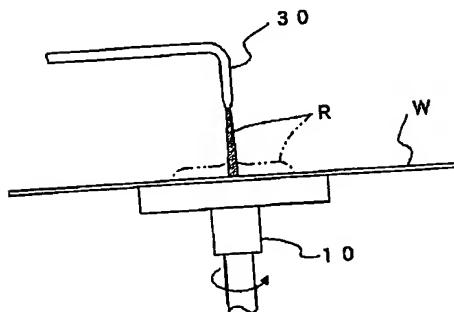
W … 基板
 10 … 吸引式スピンドルチャック
 12 … モータ
 13 … 飛散防止カップ
 14 … 吐出ノズル
 15 … メモリ
 16 … 回転数 (第1の回転数)
 17 … 回転数 (第2の回転数)
 TH' … 空回転時間
 TSU … 供給時間

50 … 制御部
 51 … メモリ
 R3 … 回転数 (第1の回転数)
 R4 … 回転数 (第2の回転数)
 TH' … 空回転時間
 TSU … 供給時間

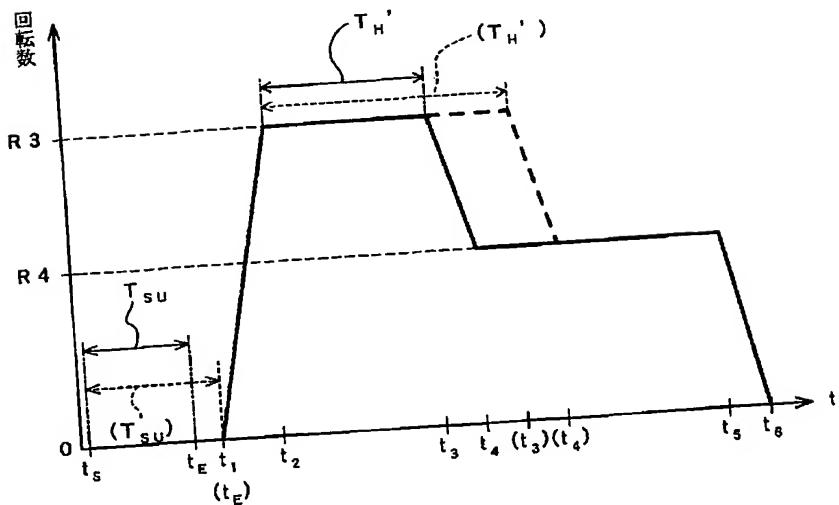
【図1】



【図3】



【図2】



【図 4】

